

Newton'sche Ringe (O5)

Ziel des Versuches

Das Interferenzmuster an einem System aus Linse und Glasplatte (newtonsche Ringe) soll zur Bestimmung des Krümmungsradius der Linse und zur Ermittlung unbekannter Wellenlängen ausgenutzt werden.

Theoretischer Hintergrund

Die Messung der newtonschen Ringe ist eines der ältesten Verfahren zur Bestimmung von Wellenlängen. Heute setzt man es aber kaum noch ein, da andere Methoden wie z. B. Gitterspektrometrie oder Fabry-Perot-Interferometrie weitaus genauer sind. Die physikalischen Grundlagen der newtonschen Ringe entsprechen jedoch denen anderer Interferometer und sind deshalb von grundlegendem Interesse.

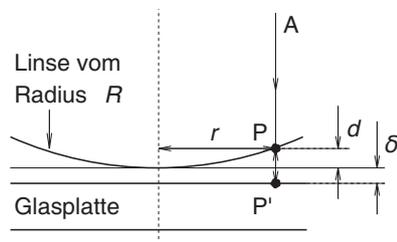


Abbildung 1: Strahlengang am System Linse-Glasplatte.

Bei der Erzeugung der newtonschen Ringe wird eine plattkonvexe Linse mit großem Krümmungsradius R mit ihrer konvexen Fläche auf eine ebene Glasplatte gelegt. Das System Linse-Glasplatte wird mit monochromatischem Licht der Wellenlänge λ von oben beleuchtet. In Abb. 1 ist der Strahlengang für einen einfallenden Strahl A stellvertretend für das gesamte einfallende Strahlenbündel dargestellt. Der einfallende Strahl wird an den Grenzflächen Linse/Luft und Luft/Glasplatte teilweise reflektiert und transmittiert. Dies führt zu einer Aufspaltung in viele Teilstrahlen, die miteinander interferieren. Interessant ist im Weiteren die Interferenz zwischen den vom System Linse-Glasplatte reflektierten bzw. transmittierten Strahlen, die sich durch den Gangunterschied der verschiedenen Teilstrahlen in den Punkten P bzw. P' ergibt. Der zusätzliche Gangunterschied aufgrund des geringen Versatzes des Strahls bei Durchgang durch die gewölbte Linsenoberfläche wird im Folgenden vernachlässigt. Diese Näherung ist für große Krümmungsradien R der Linse ($R \gg r$) berechtigt.

Interferenz in Reflexion

In Reflexionsrichtung beschränken wir uns auf die Betrachtung von nur zwei Teilstrahlen. Der erste Teilstrahl entsteht durch die direkte Reflexion des Strahles A im Punkt P. Der andere Teil des Strahls A wird durch die Linsenoberfläche am Punkt P transmittiert und an der Glasplatte im Punkt P' teilweise wieder reflektiert. Derjenige Anteil dieses Strahls, der im Punkt P erneut transmittiert wird, bildet den zweiten Teilstrahl.

Der zweite Teilstrahl legt im Vergleich zum ersten Teilstrahl den zusätzlichen Weg $2(d + \delta)$ zurück (siehe Abb. 1), wodurch sich der Gangunterschied Δs beider Strahlen im Punkt P ergibt zu:¹

$$\Delta s = 2(d + \delta) + \frac{\lambda}{2} \quad . \quad (1)$$

Durch geometrische Betrachtungen (Höhensatz) in Abb. 1 erhält man für den Abstand d den Zusammenhang:

$$r^2 = d(2R - d) \quad ,$$

der sich für $d \ll 2R$ wiederum vereinfacht zu

$$r^2 = 2dR \quad . \quad (2)$$

Für bestimmte Strahlen A in den Abständen r_n vom Linsenauflegepunkt ist der Gangunterschied Δs zwischen den beiden Teilstrahlen gerade so groß, dass diese miteinander destruktiv interferieren. Die Bedingung für diesen Fall lautet:

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{wobei} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad . \quad (3)$$

Fasst man die Gln. (1), (2) und (3) zusammen, so ergibt sich für den Radius r_n der n -ten destruktiven Interferenz in Reflexion:²

$$r_n^2 = nR\lambda - 2R\delta \quad . \quad (4)$$

Bei Berücksichtigung der Rotationssymmetrie der Anordnung entsteht durch konstruktive und destruktive Interferenz ein Interferenzmuster aus abwechselnd hellen und dunklen konzentrischen Ringen, die man newtonsche Ringe nennt. Die Größe δ verschwindet, wenn die Linse ohne Zwischenraum aufliegt und im Mittelpunkt der newtonschen Ringe Auslöschung herrscht. Newtonsche Ringe entstehen nur an sehr dünnen Schichten (warum?) und sind z. B. bei Ölschichten auf Wasser im Sonnenlicht als farbige Kreise (warum?) zu beobachten.

Versuchsaufbau und -durchführung

In Abb. 2 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Eine Lichtquelle (Spektrallampe) mit Kondensorlinse beleuchtet das System Linse-Glasplatte durch einen halbdurchlässigen Spiegel von oben. Das von diesem System reflektierte Licht wird von dem halbdurchlässigen Spiegel in Beobachtungsrichtung umgelenkt. Mit Hilfe einer Linse wird dann ein paralleles Strahlenbündel erzeugt. Dieses geht durch ein Filter³, das nur Licht in einem schmalen Wellenlängenbereich für die genutzte Spektrallinie der Lampe durchlässt. Das

¹ Überlegen Sie sich woher der Zusatzterm $\lambda/2$ kommt.

² Überlegen Sie sich wie die Gleichung für konstruktive Interferenz lautet.

³ Als Filter werden sogenannte Interferenzfilter verwendet: Die in einer teilweisen verspiegelten, planparallelen Platte entstehenden Mehrfachreflexionen führen zur Interferenz der transmittierten bzw. reflektierten Teilstrahlen. In Abhängigkeit von der optischen Dicke der Platte ergibt sich für eine bestimmte Wellenlänge und deren Vielfache konstruktive Interferenz in der Transmission. Die Halbwertsbreite der Durchlässigkeitskurve eines Interferenzfilters hängt vom Grad der Verspiegelung (Finesse) ab.

nun nahezu monochromatisches Licht fällt durch eine Blende in ein Fernrohr. Durch Verschieben der Linse können Sie bei einem auf unendlich gestellten Fernrohr nun ein scharfes Bild der newtonschen Ringe erzeugen.⁴ Die Helligkeit sollte mit der Blende so eingestellt werden, dass ein optimaler Kontrast entsteht. Das System Linse-Glasplatte ist auf einem verschiebbaren Schlitten angeordnet. Mit Hilfe der Mikrometerschraube kann der Schlitten definiert verschoben werden, sodass mit Hilfe des Fadenkreuzes im Okular der Abstand und der Radius der Ringe sehr gut bestimmbar sind.

⁴ Verwenden Sie für die Grundjustage die am Platz liegende Strichfolie.

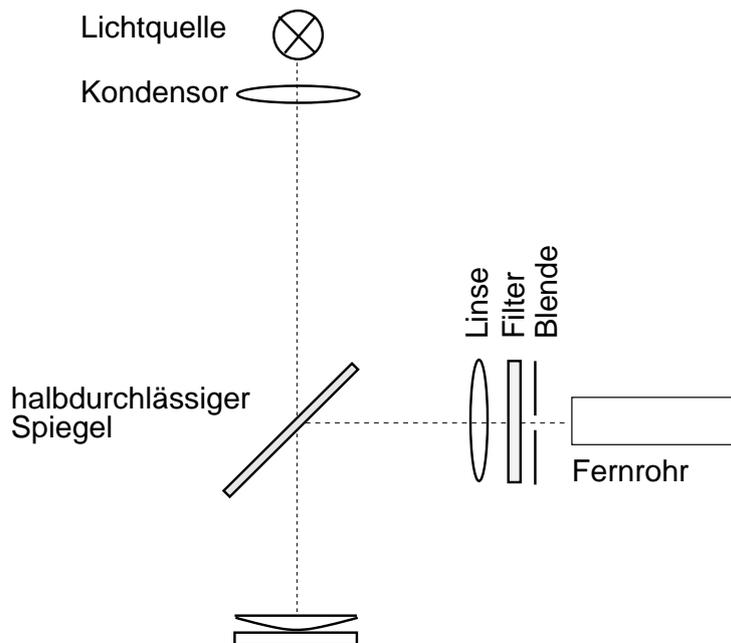


Abbildung 2: Anordnung zur Messung der newtonschen Ringe in Reflexion.

Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie den Krümmungsradius R der Linsenoberfläche. Benutzen Sie dazu als Lichtquelle die grüne Linie (546,07 nm) der Quecksilberdampfampe. Ermitteln Sie den Radius möglichst vieler sichtbaren newtonschen Ringe in Reflexion, und tragen Sie r_n^2 gegen n auf. Werten Sie die Steigung der erhaltenen Geraden nach Gl. (4) aus.
2. Bestimmen Sie die Wellenlängen von weiteren drei Linien des Quecksilbers. Verwenden Sie zur Unterdrückung anderer Linien des Quecksilberspektrums ein entsprechendes Interferenzfilter. Vermessen Sie wiederum die newtonschen Ringe in Reflexion, und werten Sie die analoge grafische Auftragung wie in Aufgabe 1 unter Anwendung des ermittelten Krümmungsradius aus. Vergleichen Sie Ihre Werte mit denen in Tab. 1 gegebenen.
3. Bestimmen Sie den Krümmungsradius der Linse mit dem Sphärometer.
4. Bestimmen Sie die Dicke eines Drahtes (Haars) aus den newtonschen Streifen, die entstehen, wenn Sie die Linse durch einen Planglasblock ersetzen und zwischen beide Glasblöcke den Draht so legen, dass ein Luftkeil entsteht.

Wellenlänge		
λ (nm)	Farbe	Helligkeit
709,20	rot	schwach
708,19	rot	schwach
690,72	rot	schwach
579,07	gelb	sehr stark
578,97	gelb	sehr stark
576,96	gelb	sehr stark
546,07	grün	stark
491,60	blaugrün	mittel
435,84	blau	stark
434,75	blau	mittel
433,92	blau	mittel
407,78	violett	mittel
404,66	violett	mittel

Tabelle 1: Spektrallinien des Quecksilbers